

K 値ゲージを用いた疲労き裂深さの同定

東京都市大学 学生会員 ○曾場 知世 東京都市大学 正会員 関屋 英彦
 東京都市大学 学生会員 森近 翔伍 東京都市大学 正会員 丸山 収
 琉球大学 正会員 田井 政行 共和電業 高木 真人 東京都市大学 フェロー 三木 千壽

1. はじめに

疲労き裂は、繰り返し応力がかかることで発生するき裂である。疲労き裂を放置すると、部材の破壊につながる危険性があるため、鋼橋の疲労き裂に対しては適切な補修・補強が必要となる。そのためには、き裂深さを把握することが重要である。き裂深さを把握する方法として、超音波探傷試験を用いた手法がある。しかし、浅いき裂に対しては、検査技術者に高度な技量と豊富な経験が要求されるため、簡易な疲労き裂深さの同定手法の開発が求められている。

そこで、本研究では、新たな手法として応力拡大係数(K 値)を計測できる K 値ゲージを用いて、表面におけるき裂先端での K 値を計測し、計測した K 値からき裂深さの同定を試みる。

2. K 値ゲージ概要

K 値ゲージは、鋼材表面のひずみ値を計測し、計測したひずみ値から K 値を計測するゲージである。今回用いた K 値ゲージの寸法は図 1 に示す通り、半径 $r=2.5\text{mm}$ である。また、K 値ゲージは、G1 から G4 までのゲージ素子で構成されており、それぞれ素子でひずみを計測する。材料のヤング率、ポワソン比から決まる定数と計測されたひずみを用いて、K 値を算出する。

3. 実験概要

き裂深さの同定を目的とした疲労試験を実施した。本試験では、図 2 に示す試験片を用いた。試験片には長さ 10mm 、深さ 2mm とする非貫通のスリットを放電加工で設けており、この箇所から疲労き裂を発生させた。試験片は SM490 を用いた。

载荷条件は下限応力 13.1MPa 、上限応力 131MPa 、繰返し速度を 6Hz とした。また、疲労き裂の形状、寸法を確認する目的で载荷 10 万回ごとに上限応力を一定としたまま応力範囲を $1/2$ とするビーチマーク試験を実施した。

センサの設置位置は、疲労き裂の位置に合わせて、K 値ゲージの中心がき裂の先端に一致するように貼付をした。

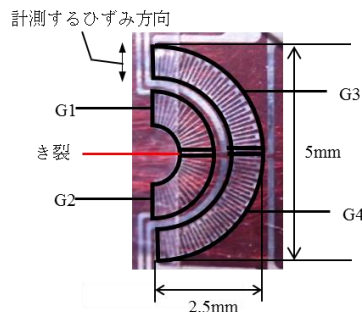


図 1 K 値ゲージ外観

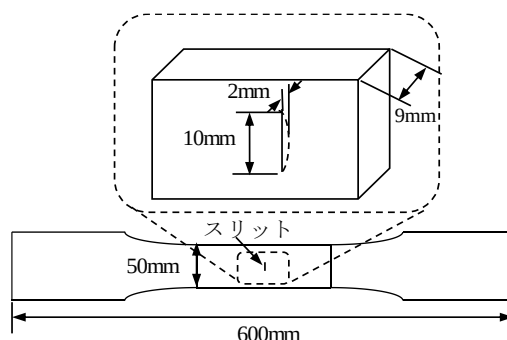
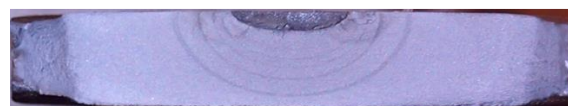
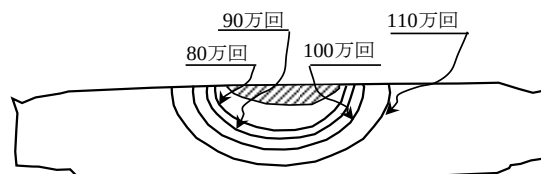


図 2 試験片概要



(a)ビーチマーク外観



(b)ビーチマークスケッチ

図 3 ビーチマーク

K 値の計測では、下限応力 22MPa 、上限応力 131MPa とする応力範囲で 22MPa ごとに静的载荷し、各荷重におけるひずみ値を計測した。K 値ゲージによる計測後、再度疲労試験を実施することによって、試験片の破断まで、疲労試験と K 値ゲージによる計測を繰り返した。

キーワード 疲労き裂, K 値ゲージ, 応力拡大係数

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL:03-5707-0104 E-mail:g1518061@tcu.ac.jp

4. 計測結果

4.1 き裂の進展

試験片にビーチマークを導入し、試験片の破断面からき裂の進展を確認した。試験片の破断面を図3(a)に、ビーチマークスケッチは図3(b)に示す。疲労き裂は、荷重回数70万回から80万回の間で発生し、半楕円状にき裂が進展している。試験片は繰り返し荷重110万回から120万回の間で破断した。

4.2 K値の算出

K値はゲージ素子G1からG4でのひずみを用いて、次式(1)で表される²⁾。

$$K = \frac{(\varepsilon_{G1} + \varepsilon_{G2}) - (\varepsilon_{G3} + \varepsilon_{G4})}{2F(R_1 - R_2)} \quad (1)$$

ここで、 F は、試験片の材料特性から決まる諸元値、 R はK値ゲージの形状から決まる諸元値である。試験片の材料特性とK値ゲージの形状から F は $2.14 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{N}$ 、 R_1 は $0.529 \text{mm}^{-1/2}$ 、 R_2 は $0.375 \text{mm}^{-1/2}$ となる。本研究では22MPaと131MPaの応力範囲である109MPaでのK値を算出した結果、100万回時のき裂形状におけるK値は、 $9.07 \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ となった。

次にき裂形状を半楕円と仮定した場合にき裂幅とき裂深さを用いる式を理論値としてK値を算出した。表面における半楕円のK値は次式(2)で表せる³⁾。

$$K_I = \frac{\sigma\sqrt{\pi b}}{E(k)} \cdot F_s \quad (2)$$

ここで、 b はき裂深さ、 $E(k)$ はき裂形状の情報から求まる値、 F_s は求めるK値の位置から決定する値、 σ は応力である。図3に示すビーチマークから得られるき裂形状の情報よりK値を算出した結果、K値は、 $10.96 \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ となった。

次に、K値ゲージを用いて算出したK値と理論値のK値との誤差率を求める。誤差率は次式(3)で算出する。

$$y = \frac{K_G - K_S}{K_S} \quad (3)$$

ここで y は誤差率、 K_G はK値ゲージから求めた値、 K_S は理論値から求めた値である。誤差率は17.2%と算出された。

5. き裂深さの同定

K値ゲージから算出したK値を用いてき裂深さの同定を試みる。式(2)より、K値はき裂形状と応力から決定される。したがって、き裂長さを一定とし、き裂深さを0.1mm刻みに変化させることにより、き裂深さとK値と

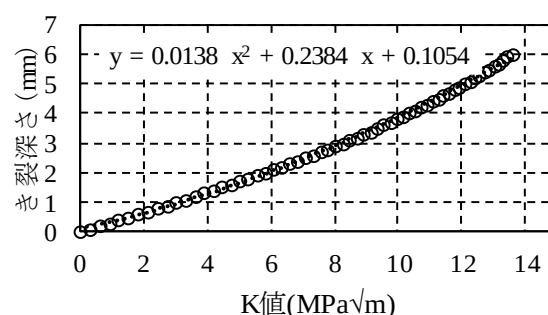


図4 K値とき裂深さの関係

の関係を表すことができる。なお、き裂長さは12.3mmとした。K値とき裂深さとの関係を図4に示す。今回の実験で計測されたK値を用いて、近似式に代入し、き裂深さを算出した。算出されたき裂深さは、3.41mmとなり、実際のき裂深さ4.43mmより1.02mm小さい結果となった。

6. まとめ

本研究では、き裂深さの同定を目的とした疲労試験を行い、K値ゲージを用いて、疲労き裂先端のK値を算出した。算出したK値に基づき、疲労き裂の深さの同定を行った。同定したき裂深さは、実際のき裂深さより1.02mm小さく算出された。このことは、理論式が貫通き裂に対するものであることが要因だと考えられる。

今後は、本手法によるき裂深さの同定の誤差要因に関する検討を目的とし、FEM解析を実施する予定である。また、溶接部を有した試験片による疲労試験を実施し、本手法の適用範囲の検討する。

謝辞

本研究の疲労試験は、東京都市大学と株式会社共和電業との共同研究「損傷検知センサの開発および無線計測システムに関する研究」の一環として実施したものである。関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1)村越潤, 高橋実, 小池光祐, 木村友則: 鋼床版き裂の超音波探傷法, 国立研究開発法人土木研究所, 技術資料, p.1, 2015年
- 2)黒崎茂, 山地周作, 小針遼, 兼平光隆, 施村偉, 志村穰: き裂の応力拡大係数解析ひずみゲージの開発, 日本機械学会論文集, Vol81, pp2-8, 2015年
- 3)Yukitaka Murakami: *Stress Intensity Handbook*, Pergamon, 1987, pp712-715